



# KVARNBACKEN JÄÄVAARASELVITYS

14.06.2024

# SISÄLLYSLUETTELO

1	YHTEENVETO .....	3
2	JÄÄVAARA.....	4
2.1	Jään muodostuminen .....	4
2.2	Jään irtoaminen – jääpalasten koko.....	4
2.3	Jään irtoaminen – jääpalasten putoamisetäisyys.....	6
2.4	Jään irtoamisen todennäköisyys ja onnettomuusriski .....	8
3	JÄÄVAARAN TUNNISTAMINEN JA HALLINTA.....	12
4	JÄÄVAARA KVARNBÄCKEN TUULIPUISTON ALUEELLA .....	13
5	SUOSITUKSET.....	15
6	LÄHTEET .....	16
7	LIITE 1 – VAROITUSKYLTTIEN SIJAINNIT.....	17

## VASTUUVAPAAUSLAUSEKE

*Tämä jäävaaran arviointiraportti on laadittu kahdella kieliversiolla: ruotsiksi ja suomeksi. Suurta huolellisuutta on noudatettu varmistettaessa, että molemmat versiot ovat johdonmukaisia ja tarkkoja. Mahdollisissa eroavaisuuksissa tai tulkintaeroissa näiden kahden version välillä ruotsinkielinen versio on kuitenkin määräävä ja sitä pidetään virallisena tekstinä kaikissa tämän raportin perusteella tehtävissä päätöksissä ja toimenpiteissä.*

## REVISIOHISTORIA

Versio	Tekijä	Tarkastaja	Hyväksyjä	Sisältö
Ver 1	Afonso Lugo, 14.06.2024	Ilona Rämä 25.6.2024	Ilona Rämä 16.8.2024	Kvarnbacken jäävaaraselvitys.

# 1 YHTEENVETO

## Tehtävä:

Etha Oy on laatinut tämän selvityksen Kvarnbackenin tuulivoimahankkeen (Kvarnbacken Vind Ab) aiheuttamasta jäävaarasta. Jäävaaralla tarkoitetaan tässä yhteydessä tuulivoimaloihin muodostuvaa jäätä, joka irrotessaan tuulivoimalasta voi tippua vaihtelevan etäisyyden päähän voimalasta ja aiheuttaa vaaratilanteita.

## Työmenetelmät:

Tässä raportissa on tarkasteltu sekä teoreettisia selvityksiä etäisyyksistä, joihin jäätä voi tippua, että kokemusperäisiä tutkimuksia jään tippumisesta toiminnassa olevissa tuulivoimapuistoissa.

Raportissa on selvitetty puistokohtaista jäävaaraa ja jäävaarariskiä Kvarnbackenin tuulivoimapuiston alueella sekä käyty läpi mahdollisia keinoja riskien minimoimiseksi. Jäävaara-alueiden laskenta on perustunut voimalaitoksen rakentamiselle sallittuihin enimmäismittoihin (roottorin halkaisija 180 metriä, napakorkeus 210 metriä).

## Tulokset:

Kvarnbackenin tuulivoimapuiston jäävaarariski arvioidaan kokonaisuudessaan alhaiseksi. Tiettyihin teihin alueella kohdistuu konkreettinen jään aiheuttamien vaarojen riski. Suositukset näiden riskien minimoimiseksi sisältävät välittömiä toimenpiteitä, kuten varoituskylltien strategista sijoittamista riskialueiden kulkupisteisiin. Valinnaisia toimenpiteitä, kuten jäävaaran aikana syttyviä varoitusvaloja, voidaan myös harkita.

Riskiluokituksen yhteenveto on esitetty taulukossa 1.

*Taulukko 1. Yhteenveto Kvarnbacken voimalaitoksen jäävaaran riskiluokittelusta.*

Puskurivyoähyke	Riskiluokitus	Tapahtumaväli vuosissa	Kommentti
180 metriä	Korkea	217 816	Tällä alueella esiintyy jäänheittoa sekä jään putoamista. Ihmisten liikkumista alueella tulisi vähentää.
280 metriä	Kohtalainen	1 001 956	Alueeseen vaikuttaa pääasiassa jäänheitto, mutta myös tuulisina päivinä putoava jää.
390 metriä	Matala	1 778 031	Alueeseen vaikuttaa ainoastaan jäänheitto. Vakavan vamman tai kuoleman aiheuttavan

onnettomuuden todennäköisyys on erittäin pieni.

## 2 JÄÄVAARA

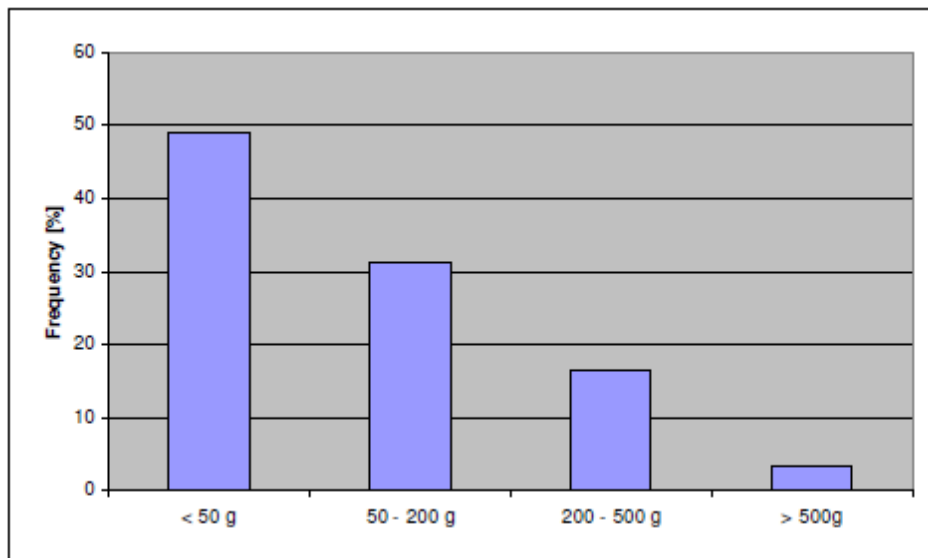
### 2.1 JÄÄN MUODOSTUMINEN

Jäätä voi muodostua tuulivoimalan lapoihin useista tekijöistä, esimerkiksi alijäähtyneestä sateesta. Tämä nopea jäänmuodostuminen ja siitä muodostuva kirkas jää on kauimmaksi tippuva jäättyppi (Cattin ym. 2007). Tällainen kirkas jää on yleensä helpoiten poistettavissa, kun voimala pysähtyy automattisen tai manuaalisen pysäytyksen kautta.

Hidasta jäänmuodostumista tapahtuu, kun pilvet ovat matalalla. Tällainen jäänmuodostus on tyypillisempää Lapissa kuin rannikkoseudulla. Voimaloiden ollessa pysähdyksissä, jäätä muodostuu enemmän, kuin niiden ollessa käynnissä.

### 2.2 JÄÄN IRTOAMINEN – JÄÄPALASTEN KOKO

Sveitsiläisessä tuulivoimapuistossa tehdyssä seurannassa (Cattin ym. 2007) suurin löydetty jääpalanen painoi 1,8 kg. Useimmat palaset painoivat vähemmän kuin 50 g.



Kuva 1. Havaittujen jääpalojen paino (Cattin ym. 2007).

Tässä tutkimuksessa 49 % jääpalasista painoi alle 50 grammaa ja 31 % oli 50–200 gramman välillä. Kuolemaan johtavien onnettomuuksien todennäköisyyden arvioimiseksi huomioitiin vain yli 100

gramman painoiset palaset. Karkeaan arvioon perustuen 59 % jääpalasista painoi alle 100 grammaa, joten ne jätettiin riskinarvioinnin ulkopuolelle.

## 2.3 JÄÄN IRTOAMINEN – JÄÄPALASTEN PUTOAMISETÄISYYS

WECO-projektissa (Wind Energy in Cold Climates) useista tuulivoimaloista eri puolilta Eurooppaa kerättyjen tietojen perusteella muodostettiin yhtälö teoreettiselle jäänheiton pituudelle (1), joka tunnetaan Seifertin kaavana, sekä yhtälö teoreettiselle jään irtoamisen etäisyydelle (2) (Tammelin, B 1998; Seifert, H. 2003).

*Jäänheitto:* mekaanisista voimista ja painovoimasta johtuva jäänheitto pyörivästä roottorista.

$$d_{safe,throw} = (D + H) \times 1.5$$

*Jään irtoaminen:* enimmäkseen painovoimasta johtuva jään irtoaminen staattisesta voimalasta.

$$d_{safe,fall} = U \frac{(D/2 + H)}{15}$$

Missä H ja D edustavat napakorkeutta ja roottorinhalkaisijaa metreissä ja U edustaa tuulennopeutta navan korkeudella metreinä per sekunti.

Tuulivoimalalle, jossa roottorin halkaisija on 180 metriä ja navan korkeus on 210 metriä sekä tuulen nopeus välillä 9,0–14,0 metriä sekunnissa, turvaetäisyydet jään heitolle ja -irtoamiselle ovat:

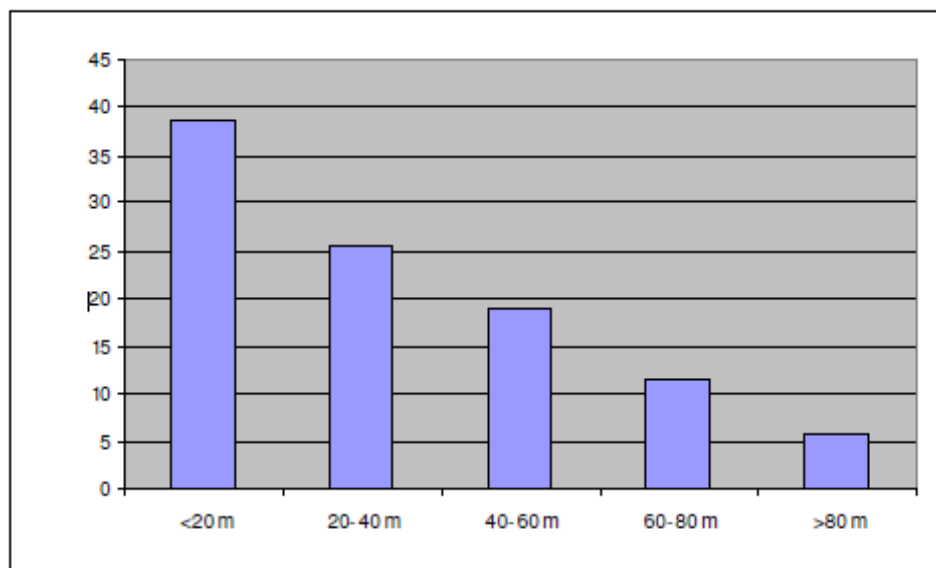
$$d_{safe,throw,th} = 585 \text{ metriä}$$

$$d_{safe,fall,th} = 180 - 280 \text{ metriä}$$

Nykyään kyseinen jäänheiton laskukaavio mielletään vanhentuneeksi, sillä sen tuloksena saadaan suurempi turvaetäisyys kuin on tarpeen (Butt, B., Dalen, E. V., Lundsbacken, M., 2018). Tuore tutkimus kuitenkin osoittaa huomioitavan suuntauksen; kun voimaloiden koko kasvaa, jäänirtoamisen etäisyys lyhenee suhteessa voimalan kokonaiskorkeuteen (Müller, S., Bourgeois S., 2017). Tutkimustulokset osoittavat, että pienimmissä voimaloissa havaittiin jään tiputusta 1,4 kertaisella etäisyydellä niiden kokonaiskorkeudesta, kun vastaava suhdeluku isommissa voimaloissa on 1,0 kertaa voimaloiden kokonaiskorkeus. On kuitenkin tärkeä huomioida, että kyseisen tutkimuksen voimalat olivat huomattavasti pienempiä kuin voimalat mitkä ovat suunnitteilla Kvarnbackenin projektiin. Tutkimuksen korkein voimala oli 140 metriä. Mielenkiintoista on, että roottorin halkaisijan kasvulla ei ollut merkittävää vaikutusta jään tai lumen aiheuttamiin vaaroihin.

Analyysi viittaa siihen, että jäänheiton vaaraa ei käytännössä ole etäisyydellä, joka on yli 1,2 kertaa nykyaikaisten tuulivoimaloiden kokonaiskorkeus, mikä vastaa tässä yhteydessä 336 metriä. Lisäksi todennäköisyys, että jää putoaa yli 1,0-kertaisen etäisyyden voimalan kokonaiskorkeudesta, on erittäin pieni.

WECO on tuulivoimaloiden tuotantoa kylmissä oloissa käsittelevä tutkimushanke, jota rahoittavat osittain Euroopan komission Non Nuclear Energy Programme. On todettava, että WECO:n antamia laskentakaavoja (Seifert ym. 2003) esimerkiksi sveitsiläisen empiirisen tutkimuksen (Cattin ym. 2007) ja RES:n mallin (Hutton 2013) perusteella on pidettävä konservatiivisena, ja että todellinen maksimaalinen putoamisetäisyys on pienempi. Käytettävissä olevien tutkimustietojen perusteella arvioimme, että WECO:n malli yliarvioi maksimaalisen putoamisetäisyyden 35-50 %:lla. Kuva 2 näyttää jääpalojen löytöetäisyyden kun maksimietäisyys oli 92 metriä voimalasijainnista, ja roottorin halkaisija oli 40 metriä.



Kuva 2. Jääpalojen etäisyys voimalasta (Cattin ym. 2007). Pisimmälle lentänyt jääpalanen löytyi 92 metrin päästä. WECO:n laskentakaavio antoi samalle tuulivoimalalle maksimietäisyyden 135 metriä.

IceRisk-tutkimuksen mukaan tuulivoimaloiden tai muiden korkeiden rakenteiden jäänheiton tai putoamisen aiheuttaman riskin arvioimiseksi (Bredesen, R. E., Ausland, R. H., 2015), jota IEA Wind TCP Task 19 tukee (IEA Wind, 2022) voidaan Seifertin yhtälöä pienentää 2/3:aan yleisenä turvaetäisyyssääntönä:

$$d_{safe,throw} = (D + H) \times 1.0$$



Sovellettaessa samoja parametreja roottorin halkaisijalle ja napakorkeudelle kuin aiemmassa yhtälössä, todellinen jäänheiton turvaetäisyys on:

$$d_{safe,throw} = 390 \text{ metriä}$$

## 2.4 JÄÄN IRTOAMISEN TODENNÄKÖISYYS JA ONNETTOMUUSRISKI

On hyvin vaikeaa arvioida jään putoamisen todennäköisyyttä. Edellä mainitussa sveitsiläisessä seurantatutkimuksessa havaittiin yhteensä 121 jääpalasta kahden vuoden aikana (Cattin ym. 2007).

Suomen Tuuliatlas on jäätymisen huomioiva voimalaitosrakentamisen suunnittelutyökalu, joka perustuu numeeriseen säämalliin. Kartan mukaan aktiivista jäätymistä esiintyy Kvarnbackenilla 380 tuntia vuodessa (noin 4,3 % vuodesta), mikä vastaa IEA luokkaa 2 (instrumentaalijäätymistä 1-9 % välillä).

VTT WlceAtlas, maailmanlaajuisesti hyödynnetty tuulivoimasovellusten jääkarta, perustuu laajoihin havaintoihin 20–34 vuoden ajalta 4500 sääasemalla. Jokaisen aseman tiedon saatavuus on yli 70 % kokonaismittausajasta. On olennaista huomioida, että WlceAtlas luottaa pilven pohjan korkeus- ja lämpötilamittauksiin, joten se soveltuu vain pilvijäätymisskenaarioihin. Kvarnbackenissa WlceAtlas-kartalla on IEA:n jääluokkaan 2 luokitellut ankarat jääolosuhteet, joissa sään jäätyminen ylittää 3 % vuodesta, joka on linjassa Suomen Tuuliatlaksen kanssa.

Olemassa olevien tutkimusten ja Kvarnbackenin voimaloiden mittojen perusteella onnettomuuksien todennäköisyys yli 390 metrin etäisyydellä on käytännössä olematon. "Onnettomuus" tarkoittaa tässä skenaariota, jossa jäähiukkanen tai kappale, jonka paino vaihtelee muutamasta grammasta suurempiin, osuu yhden neliömetrin alueelle. Ensisijainen riski koskee huoltohenkilöstöä 180 metrin säteellä voimaloiden paikoista, ja tuulisena päivänä riski kasvaa jopa 280 metriin. Välillä 280–390 metriä on edelleen olemassa onnettomuusriski, johon vaikuttaa ihmisten liikkumismäärä alueella. Metsäpeite tuo suojaa metsäisessä maastossa.

Yksilöihin kohdistuvien onnettomuuksien riski vaihtelee merkittävästi riippuen ihmisen liikkumisesta lähistöllä talvella. Tämä vaihteluväli ulottuu yhdestä onnettomuudesta sadan vuoden välein, paljon käytetyillä lähialueilla talviaikaan, yhteen onnettomuuteen 100 000 vuoden välein, ihmisen liikkumisen ollessa harvinaista alueella.

Alla on kaksi esimerkkiä, jotka antavat käsityksen riskin suuruudesta, mutta joita ei tule pitää tarkkoina arvioina.

1. Ihmisten liikkumisen minimoiminen 390 metrin säteellä lähimmistä tuulivoimaloista (enintään 20 henkilöä päivässä, viettää alueella tunnin per henkilö) vähentää onnettomuusriskiä merkittävästi. Näissä olosuhteissa on odotettavissa vähemmän kuin yksi jäänheitto-onnettomuus 80 000 vuodessa.
2. Säännöllinen ihmisen liikkuminen alueella (jopa 100 ihmistä päivittäin, viettää alueella tunnin per henkilö), erityisesti 100–200 metrin säteellä tuulivoimaloiden läheisyydestä, viittaa yhden onnettomuuden todennäköisyyteen 2 100 vuoden välein.

Ottaen huomioon tuulipuiston 25 vuoden oletetun elinkaaren, jäänheitosta johtuvien onnettomuuksien tapahtuminen on erittäin epätodennäköistä.

Tässä raportissa ei täsmennetä tällaisia onnettomuuksia aiheuttavien jääpalasten kokoa. On kuitenkin aiheellista huomioida, että useimmat putoavat jääpalaset ovat pieniä ja aiheuttavat minimaalisen vaaran yksilöille, mikä johtaa erittäin pieneen vammoja aiheuttavien onnettomuuksien riskiin.

Autoilijoiden loukkaantumisriski on huomattavan pieni, koska ajoneuvot tarjoavat suojaa lyhytaikaisissa altistumistilanteissa. Ensisijainen huoli mahdollisista vahingoista kohdistuu tuulivoimaloiden huoltohenkilöstöön.

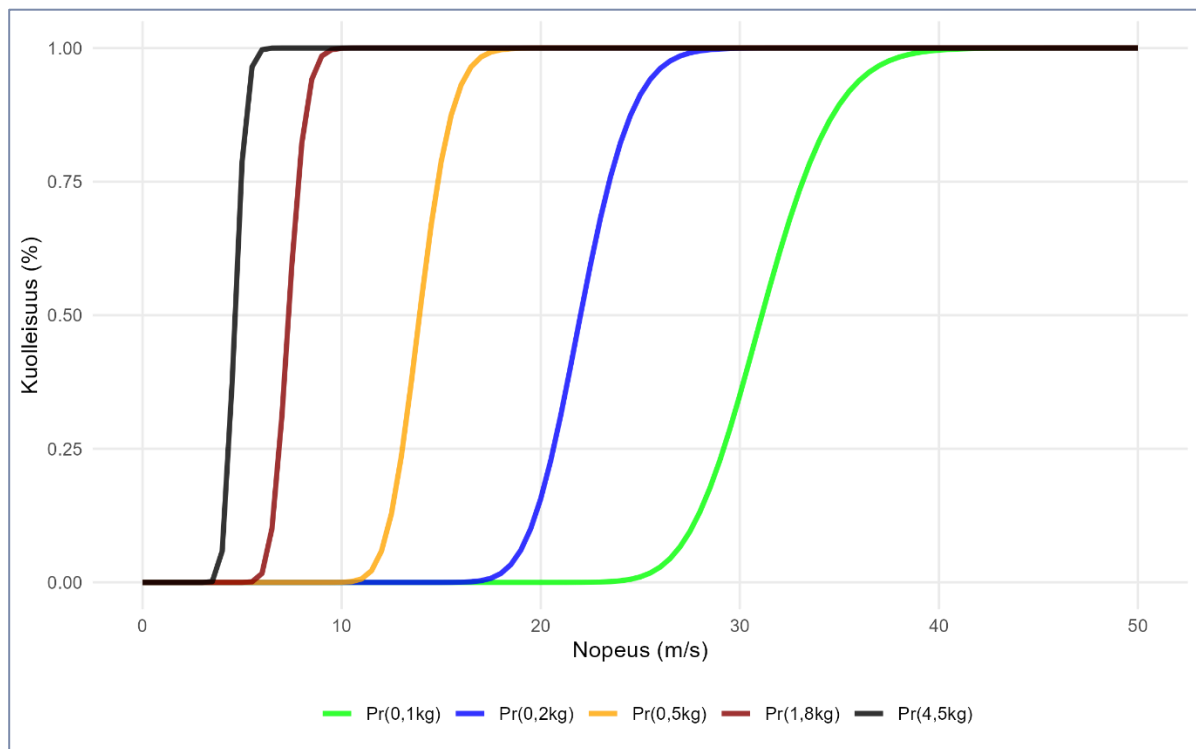
Jääpalasten suojaamattomaan henkilöön aiheuttamien tappavien seurauksien todennäköisyyden arvioimiseksi, IEA Wind TCP Task 19 -tehtävässä sovelletaan CPR 16E:tä (Committee for the Prevention of Disasters caused by dangerous substances, 1992) missä sovelletaan 0,1–4,5 kg:n jäämassoja. Kaava annetaan probit-funktio muodossa:

$$P_{lethal} = Pr(-17.56 + 5.3 \cdot \ln S)$$

Missä  $S$  on projektiilin kineettinen energia, jonka massa on  $m$  ja nopeus  $u$ :

$$S = \frac{1}{2} m \cdot u^2$$

Kuva 3 esittää korrelaation kuolleisuuden ja jääpalasten nopeuden välillä 0,1–4,5 kg:n massoilla. On tärkeää huomata, että suurin kentältä löydetty jääpala on 1,8 kg (Cattin et. al, 2007).



Kuva 3. Korrelaatio kuolleisuuden ja jääpalasten nopeuden välillä massoilla 0,1–4,5 kg.

Käyriä analysoimalla on selvää, että massan ja nopeuden välinen suhde vaikuttaa merkittävästi onnettomuuden mahdolliseen kuolleisuuteen. Suuremmat massat eivät vaadi suuria nopeuksia johtaakseen kuolemaan johtaviin onnettomuuksiin, kun taas nopeudet, jotka ylittävät 40 metriä sekunnissa, ovat tappava uhka esineen massasta riippumatta. Kun otetaan huomioon, että esineen vapaa pudotus 100 metristä saavuttaa loppunopeuden 44 metriä sekunnissa, on järkevää olettaa, että mikä tahansa osuma suojaamattomaan henkilöön johtaisi kuolemaan.

Kun käytetään samaa Cattinin vuonna 2007 tekemässä tutkimuksessa käytettyä jäänpoistotapahtumien tiheyttä ja lasketaan 1 200 jääpalasta tuulivoimalaa kohden IEC-jääluokkaan 2 perustuen, on henkilön aikaperusteiselle altistukselle kuolemaan johtavien onnettomuuksien todennäköisyyslaskettu ja esitetty LIRA luokituksen mukaisesti (Localized Individual Risk) taulukossa 2. Puskurivyöhykkeet ovat edellisessä osiossa laskettujen etäisyyksien mukaisia.

Taulukko 2. Jään irtoamisen aiheuttamien onnettomuuksien todennäköisyys.

Puskuri	Jään irtoamisen tiheys	Kuolettavan osuman todennäköisyys	LIRA luokitus
180 metriä	63%	4.59E-06	Ei hyväksyttävää
280 metriä	19%	9.98E-07	Korkea
390 metriä	18%	5.62E-07	Korkea

Jäävaaravyöhykkeet on luokiteltu LIRA-luokituksen (Localized Individual Risk) mukaan seuraavasti (IEA Wind TCP Task 19, 2022):

- Ei hyväksyttävä jääriski ( $>10^{-5}$ ): Tätä riskiä ei voida hyväksyä, ja toimenpiteisiin on ryhdyttävä.
- Suuri jääriski ( $10^{-6} - 10^{-5}$ ): Hyvin tunnettuja riskiä vähentäviä toimenpiteitä on toteutettava.
- Siedettävä jääriski ( $10^{-7} - 10^{-6}$ ): Riski on siedettävä, ja jos muita yhteisiä toimenpiteitä riskin pienentämiseksi tiedetään, niitä tulee tarkastella kustannus-hyötynäkökulmasta.

Tämä luokitus on annettu Yhdistyneen kuningaskunnan terveys- ja turvallisuusjohtajan (UK Health and Safety Executive) ehdottaman ALARP-periaatteen (As Low As Reasonably Practicable) mukaisesti.

Kuten taulukosta 2 voidaan nähdä, LIRA-luokitus on tähän tuulipuistoon sovellettaessa erittäin konservatiivinen, koska siinä oletetaan, että joku oleskelee pysyvästi koko talven tällä verrattain tyhjällä alueella. Tämän takia Kvarnbackenin tuulipuistolle päätettiin luoda toinen erityinen riskiluokitus. Tässä uudessa luokittelussa henkilön oletetaan oleskelevan riskivyöhykkeillä 3,8 % talviajasta, mikä vastaa yhteensä 166 tuntia. Tällä oletuksella riskivyöhykkeet kuvataan seuraavasti:

- 180 metrin puskurialue: 4.59E-06 kuolettavan osuman todennäköisyys, korkea riski. Tämä alue on altis jää- ja jääputoamille, ja ihmisten liikkumista tulisi vähentää.
- 280 metrin puskurialue: 9.98E-07 kuolettavan osuman todennäköisyys, siedettävä riski. Alue on pääasiassa altis jääheitolle, mutta myös jääputoamille tuulisina päivinä.
- 390 metrin puskurialue: 5.62E-07 kuolettavan osuman todennäköisyys, siedettävä riski. Alue on altis vain jääheitolle, mutta osuman todennäköisyys on erittäin pieni.

Riskiluokitus tässä raportissa toimii arviona, sillä tarkkaa tietoa teitä, hiihtolatuja ja ulkoreittejä talvella käyttävien henkilöiden määrästä ei ole saatavilla. Jääriskiluokitus perustuu voimalaitoksen tämänhetkisten suunnitelmien maksimimittoihin, ja näiden mittojen muutokset voivat muuttaa jääriskiluokitusta. Mikäli lopullisen voimalamallin mitat ovat enimmäismittoja pienemmät, tulevat riskialueet olemaan pienemmät kuin tässä raportissa esitetyt.

### 3 JÄÄVAARAN TUNNISTAMINEN JA HALLINTA

Tuulivoimaloiden roottorilapojen jäänmuodostus tunnistetaan joko tehokäyrän poikkeamien tai värinävaikutusten avulla. Tällöin jäävaaran hallinta tehdään usealla vaihtoehtoisella tavalla, voimalavalmistajasta riippuen. Jos voimalaan on asennettu jäänpoistojärjestelmä (de-icing tai anti-icing) käynnistyy lapojen lämmittäminen, kun jäätä on havaittu. Jos voimalassa ei ole varsinaista jäänpoistojärjestelmää voimalat pysähtyvät automaattisesti tai manuaalisesti kun valvontajärjestelmä havaitsee merkittävää jäätymistä lavoissa. Jää irtoaa usein voimalan pysähtyessä tai sitä uudelleen käynnistettäessä. Tämä johtuu siitä, että voimalan lavat tyypillisesti taipuvat pyöriessään tuulen voimasta ja palautuvat normaaliasentoon, kun voimala pysäytetään. Kun voimala taas käynnistetään, lavat taipuvat taaksepäin ja jää irtoaa lavoista usein itsestään ja lentomatkat ovat lyhyitä. Vaihtoehtoisesti jäätä voidaan ravistella pois, jolloin manuaalinen käynnistys on useimmiten tarpeen jään irrottua. Joissakin tapauksissa jääntunnistusjärjestelmä voidaan myös yhdistää varoitusjärjestelmään, joka sytyttää varoitusvalot jäävaaran hetkellä ja siten alueella liikkujien määrä voidaan minimoida. Vaikka monet tuulivoimaloiden valmistajat tarjoavat roottorien lämmitysjärjestelmiä, niiden tarpeellisuus tai taloudellinen kannattavuus on rajoitettua joillakin alueilla, kuten Suomen rannikkoalueilla johtuen vähäisestä onnettomuus- ja tuotantotappioriskistä.

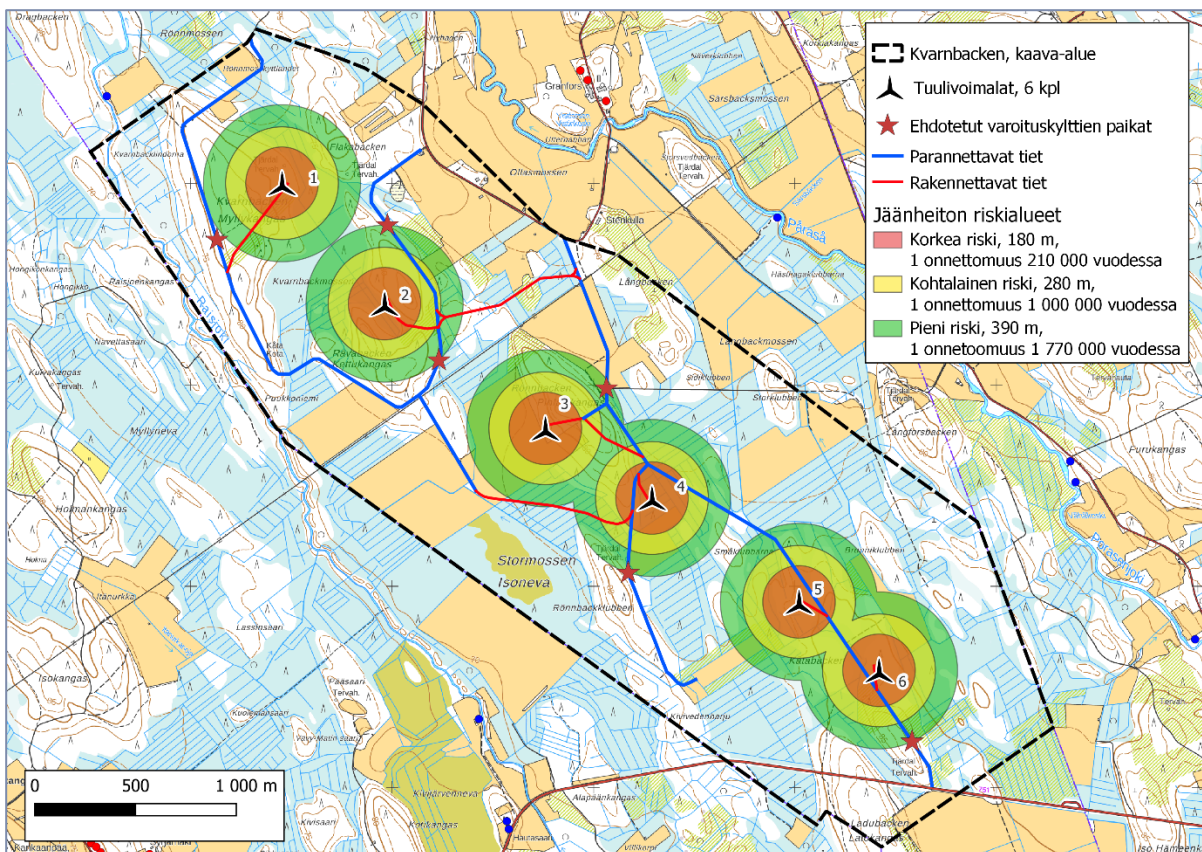
Varoitusjärjestelmiä voidaan ottaa käyttöön kylttien muodossa reiteillä tai varoitusvaloilla, jotka on kytketty tuulivoimalan jääntunnistusjärjestelmään. Varoitusmerkit saattavat pienentää riskitekijää kertoimella kymmenen ja varoitusvalot kertoimella sata (IEA Wind Task TCP 19, 2022). Tässä raportissa viitataan yhteisesti näihin strategioihin "jäävaaran hallintajärjestelmänä". Jäävaaran hallintajärjestelmän käyttöönoton avulla LIRA-luokituksen mukaiset riskitasot laskisivat siedettävälle tasolle.

## 4 JÄÄVAARA KVARNBÄCKEN TUULIPUISTON ALUEELLA

Kvarnbackenin tuulivoimapuiston alueella jäävaarariski on suhteellisen pieni. Alueella on kuitenkin teitä ja polkuja, jotka vaativat toimenpiteitä onnettomuusriskien minimoimiseksi.

Kuvan 4 kartassa esitetään jäävaaralle alttiita alueita tuulipuistossa. Lisäksi kartalla on suosituksia varoituskylttien ja -valojen asentamisesta, joilla pyritään rajoittamaan liikkumista näillä alueilla jäävaaran aikana.

Arvioinnin perusteella todetaan, että kolmen tuuliturbiinin odotetaan aiheuttavan suuren jäänirtoamisriskin kaava-alueen läpi kulkevalla tiellä. Kaikilla kuudella tuuliturbiinilla on myös kohtalainen riski jään irtoamiselle kaava-alueen muilla metsäautoteillä ja poluilla. Näiden riskien pienentämiseksi esitämme suosituksia kappaleessa 5.



Kuva 4. Kvarnbackenin jäävaarakartta ja ehdotetut paikat varoituskylteille.

Jäävaara-alueiden laskenta on perustunut Kvarnbackenin suunniteltujen voimaloiden maksimimittoihin (roottorin halkaisija 180 metriä, napakorkeus 210 metriä). On tärkeää huomata, että voimalaitosten mittojen muutokset voivat vaikuttaa jäävaaravyöhykkeiden kokoon. Mikäli lopullisen voimalamallin mitat ovat enimmäismittoja pienemmät, tulevat riskialueet olemaan pienemmät kuin tässä raportissa esitetyt.

## 5 SUOSITUKSET

Tuulipuistossa suositellaan seuraavia toimenpiteitä jään aiheuttaman riskin minimoimiseksi:

1. Varustetaan kaikki tiet, vaellusreitit, moottorikelkkareitit tai vastaavat reitit 390 metrin säteellä voimalaitoksesta varoituskylteillä. Kuvasta 4 ilmenee ehdotettujen kylttien sijoituspaikat. Varmistetaan, että mahdolliset taukopaikat sijoitetaan riittävälle etäisyydelle.
2. Kypäräpakko voimala-alueella työskenteleville ihmisille ympäri vuoden. Laaditaan turvallisuussuunnitelma voimaloiden toiminta-ajalle, sisältäen ohjeistuksen voimaloiden läheisyydessä toimimiselle talviaikaan.

Mahdollisina lisätoimenpiteinä voidaan myös käyttää seuraavia menetelmiä:

3. Asennetaan puomit tuulivoimaloille johtavien huoltoteiden varrelle. Näihin puomeihin asennetaan tietotaulut ja varoituskyltit, jotka kertovat voimalaitokseen liittyvistä jäävaaran riskeistä.
4. Asennetaan varoituskyltteihin valot, jotka on yhdistetty tuulivoimaloiden jääntunnistusjärjestelmiin.



## 6 LÄHTEET

Bredesen, R. E., Ausland, R. H. (2015). "Methods for evaluating risk caused by ice throw and ice fall from wind turbines and other tall structures". Saatavilla:

[https://windren.se/IWAIS\\_p/IWAIS2015/IWAIS2015\\_pa/38\\_13\\_03\\_Paper\\_Bredesen\\_Methods\\_for\\_evaluating\\_risk\\_caused\\_by\\_ice\\_throw\\_and\\_ice\\_fall\\_from\\_wind\\_turbines\\_and\\_other\\_tall\\_structures.pdf](https://windren.se/IWAIS_p/IWAIS2015/IWAIS2015_pa/38_13_03_Paper_Bredesen_Methods_for_evaluating_risk_caused_by_ice_throw_and_ice_fall_from_wind_turbines_and_other_tall_structures.pdf)

Butt, B., Dalen, E. V., Lundsbacken, M., (2018). "Iskast fra vindturbiner". Saatavilla:

[http://publikasjoner.nve.no/veileder/2018/veileder2018\\_05.pdf](http://publikasjoner.nve.no/veileder/2018/veileder2018_05.pdf)

Cattin, R. ym., (2007). "Wind turbine ice throw studies in the Swiss alps". Saatavilla:

[https://www.researchgate.net/profile/Rene\\_Cattin/publication/228491358\\_Wind\\_turbine\\_ice\\_throw\\_studies\\_in\\_the\\_Swiss\\_Alps/links/02e7e52a01fae2907e000000/Wind-turbine-ice-throw-studies-in-the-Swiss-Alps.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rene_Cattin/publication/228491358_Wind_turbine_ice_throw_studies_in_the_Swiss_Alps/links/02e7e52a01fae2907e000000/Wind-turbine-ice-throw-studies-in-the-Swiss-Alps.pdf)

Hutton, G. (2013) "The applications of ice throw modelling to risk assessment and planning in cold climates". Saatavilla:

[http://windren.se/WW2013/27\\_Hutton\\_Gail\\_Winterwind\\_2013.pdf](http://windren.se/WW2013/27_Hutton_Gail_Winterwind_2013.pdf)

IEA Wind TCP Task 19. (2022). "International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments". 13. Wind Energy in Cold Climates. Revision 1, Edition 2022. Saatavilla: <https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2022/09/Task-19-Technical-Report-on-International-Recommendations-for-Ice-Fall-and-Ice-Throw-Risk-Assessments.pdf>

Kurikan kaupunki (2014). "Hiihtolatureitistö Säläisjärvi – Polvenkylä". Saatavilla:

[http://www.kurikka.fi/files/Kuvitus/Kartta\\_SalaisjarviPolvenkyla\\_22\\_8\\_2014.jpg](http://www.kurikka.fi/files/Kuvitus/Kartta_SalaisjarviPolvenkyla_22_8_2014.jpg).

Müller, S., Bourgeois S. (2017). "Unique data set of fallen ice pieces or thrown from wind turbines". WindEurope Conference, Poster 139.

Seifert, H. ym. (2003). "Risk analysis of ice throw from wind turbines".

Sumoen Tuuliatlas (2011). Saatavilla: <http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/>.

Tammelin, B. ym. (1998). "Wind energy production in cold climate".

Wind Power Icing Atlas – WIceAtlas (2023). Saatavilla: <http://virtual.vtt.fi/virtual/wiceatla/>.

## 7 LIITE 1 – VAROITUSKYLTTIEN SIJAINNIT

Jäävaaraan liittyvien riskien vähentämiseksi välittömiä toimenpiteitä on varoituskylttien sijoittaminen jäävaaravyöhykkeen kulkupisteisiin. Kunkin varoitusmerkin tarkat koordinaatit löytyvät taulukosta 3 ja visuaalisesti kuvattuna jäävaarakartalla kuvassa 4. Nämä kyltit on sijoitettava strategisesti siten, että niiden näkyvyys varmistetaan sekä ajoneuvoliikenteelle että jalankulkijoille, ja niissä on selkeä osoitus jäätymisvaarasta. Lisäksi voidaan toteuttaa lisätoimenpiteitä ihmisten liikkumisen minimoimiseksi ja jäävaarariskin vähentämiseksi entisestään. Nämä lisätoimenpiteet voivat esimerkiksi sisältää varoitusvalojen asentamisen, jotka on yhdistetty tuulivoimaloiden jäätunnistusjärjestelmiin, kuten kohdassa 3 on kuvattu.

*Taulukko 3. Ehdotus varoituskylttien sijoituksista.*

Varoituskyltti	Pohjois koord. (ETRS TM35FIN)	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)
1	331977	7035793
2	332232	7035121
3	333064	7034982
4	334581	7033228
5	331131	7035720
6	333172	7034066